

## ЛИТЕРАТУРА

1. Код для оперативной передачи данных приземных метеорологических наблюдений с сети станций Росгидромета. Режим доступа: <http://meteork.ru/doc/serv/synop.pdf> (дата обращения 15.03.2015).
2. Ботыгин И.А., Попов В.Н. Архитектура распределенной файловой системы // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/137TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/137TVN614.
3. I. A. Botygin, V. N. Popov, V. A. Tartakovsky, V. S. Sherstnev Architecture of scalability file system for meteorological observation data storing // Proc. of SPIE, 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – 2015. – vol. 9680. – pp. 96800J-1–96800J-4. – doi: 10.1117/12.2205749.

## ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ СЛОЕМ ВОДЫ, СОДЕРЖАЩИМ ПУЗЫРИ ГАЗА

*А.С. Иванов*

*(г. Томск, Томский политехнический университет)  
e-mail: burnrush@sibmail.com*

## FEATURES OF THE NUMERICAL MODEL FOR THE STUDY OF RADIANT ENERGY ATTENUATION OF WATER LAYER CONTAINING GAS BUBBLES

*A.S Ivanov*

*(Tomsk, Tomsk Polytechnik University)*

**Аннотация.** Currently, the study of marine areas, use optical methods of research, great attention is paid. Optical methods are most effective for monitoring the composition of the aquatic environment and the establishment of seismic activity in the bottom of sea areas. Character of change of optical radiation, transformed the media depends on the characteristics of light scattering by particles. Based on the results of analysis of these characteristics are assessed physicochemical properties of the medium. In this study, to determine the microphysical parameters of an aqueous medium containing gas bubbles, a numerical model is proposed.

**Ключевые слова.** Пузыри газа, численная модель, водная среда, лучистая энергия, метан.

**Постановка задачи.** Для исследования характеристик ослабления света, прошедшего через слой воды, содержащий воздушные пузыри, в состав которых входит метан, рассмотрим оптическую модель. Определим характеристики ослабления электромагнитного излучения для частиц объемных форм в рамках теории Ми [4]. Для этого используем решение задачи рассеяния плоской волны на сфере. Используемый нами подход в определении оптических характеристик среды обязывает нас рассматривать непоглощающую среду. Предполагается, что среда прозрачная (т.е. показатель поглощения среды  $\chi_w=0$ ). Известно, что чистая вода и морская вода слабо поглощает излучение диапазона длин волн  $\lambda$  от 0.5 до 2.5 мкм (что соответствует интервалу изменений волнового числа  $\nu=1/\lambda$  от 20000 до 5000 см<sup>-1</sup>) [5-7]. Расчеты показали, что влияние величины  $\chi_w < 10^{-3}$  на оптические характеристики среды пренебрежимо мало. Зависимость показателя преломления воды от волнового числа ( $m_w(\nu)$ ) в указанном спектральном интервале иллюстрируется на рис. 1. Различная концентрация соли в морской воде, приводит к отклонению значений  $m_w(\nu)$  от величин, показанных на рис. 1, примерно на несколько процентов.

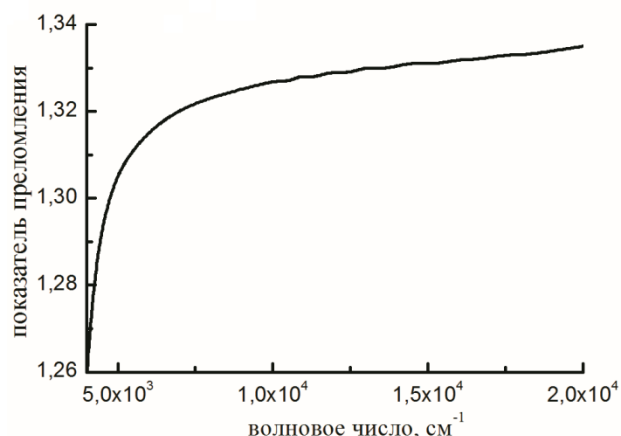


Рис. 1. Зависимость показателя преломления воды от волнового числа  $n(\nu)$

Рассмотрим слой воды, содержащий пузыри газа. При этом метан является основным газовым компонентом. В численной модели такие рассеиватели представлены сферическими частицами радиусом  $a$ . Оптические свойства частицы характеризуются комплексным показателем преломления  $\tilde{n}(\lambda) = n(\lambda) + i \cdot \chi(\lambda)$ . Вещественная часть  $n$ , называемая показателем преломления, определяет запаздывание (или опережение) фазы волны, прошедшей через вещество, мнимая часть  $\chi$ , называемая показателем поглощения, определяет уменьшение интенсивности. По данным базы <http://refractiveindex.info> показатель преломления метана в газообразном состоянии не превышает 1.00002. Показатель поглощения рассчитан по формуле [4]

$$\chi = K \cdot \eta \cdot \lambda / (4 \cdot \pi), \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент молекулярного поглощения,  $\eta$  – концентрацией молекул в рассматриваемом объеме (или парциальное давление).

На рис. 2 иллюстрируется зависимость показателя поглощения пузырей метана в зависимости от волнового числа ( $\chi(\nu)$ ). Результаты расчета  $\chi(\nu)$  были получены на основе данных молекулярного поглощения  $\text{CH}_4$  [8] и формулы (1). Из рисунка видно, что даже при высоком парциальном давлении газа, показатель поглощения метановых пузырей является пренебрежимо малой величиной.

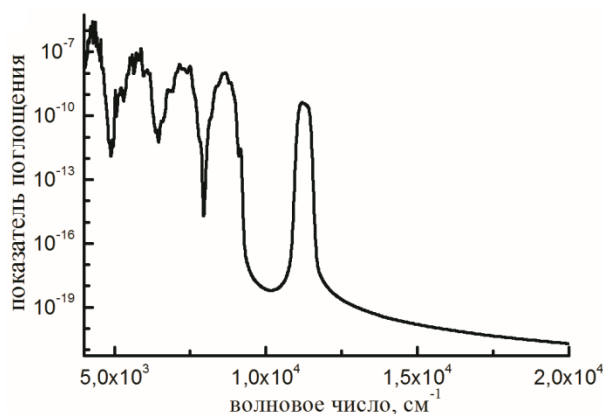


Рис. 2. Показатель поглощения пузырьков метана с парциальным давлением, равным 1 атм, в зависимости от волнового числа  $\chi(\nu)$

Для расчета коэффициента ослабления ансамблем пузырей, находящихся в воде, использовано соотношение [4]

$$\alpha_{\text{ext}} = C \langle S_{\text{ext}} \rangle, \quad (2)$$

где  $\langle S_{\text{ext}} \rangle$  – среднее сечение ослабления, определялось в рамках теории Ми,  $C$  – концентрация частиц в единице объема.

Функция пропускания средой рассчитывалась по формуле [4]

$$T = \exp(-\alpha_{\text{ext}} \cdot h), \quad (3)$$

где  $h$  – путь, который проходит излучение в слое.

Предложенная в данной работе оптическая модель рассматривает непоглощающую среду. В этой среде находятся частицы, которые могут рассеивать и поглощать излучение в разной степени.

**Результаты расчета.** При использовании представленной выше модели выполнены расчеты коэффициента ослабления и функции пропускания лучистой энергии, трансформированной слоем воды в 10 метров, содержащим пузырьки воздуха, в состав которого входит метан с повышенной концентрацией. Для расчета оптических характеристик (см. рис. 2) входными параметрами являлись: волновое число ( $\nu$ ), показатель преломления воды ( $m_w$ ), значения комплексного показателя преломления ( $n$  и  $\chi$ ), радиуса ( $a$ ) и концентрации пузырей ( $C$ ).

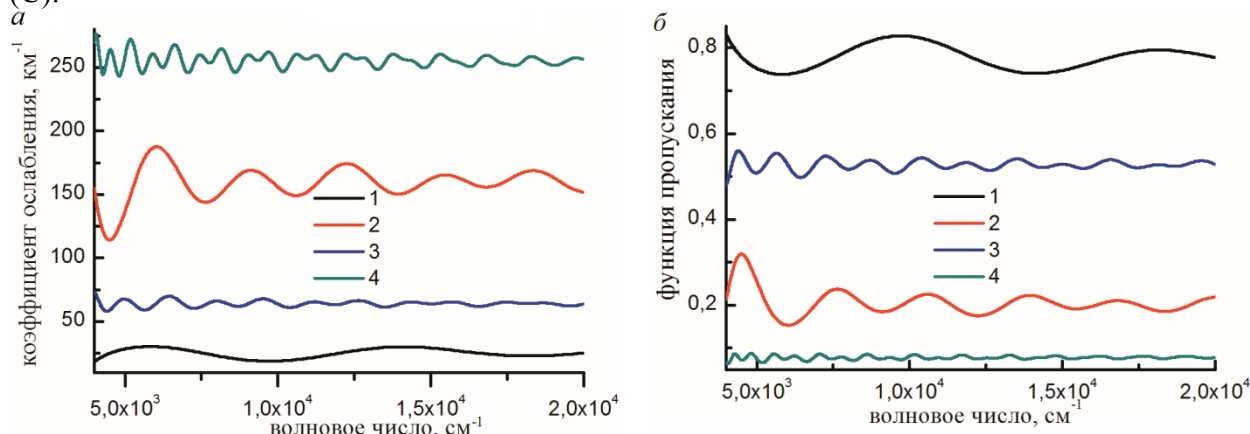


Рис. 2. Коэффициент ослабления  $\alpha_{\text{ext}}(\nu)$  (a) и функция пропускания  $T(\nu)$  (b) слоем воды, содержащим пузырьки метана различных размеров и  $\eta=1$  атм. 1 –  $a=2$  мкм,  $C=10^8$  л $^{-1}$ ; 2 –  $a=5$  мкм,  $C=10^8$  л $^{-1}$ ; 3 –  $a=10$  мкм,  $C=10^7$  л $^{-1}$ ; 4 –  $a=20$  мкм,  $C=10^7$  л $^{-1}$ .

На рис. 2 показаны зависимости коэффициента ослабления и функции пропускания в интервале  $\nu$  от  $5000 \text{ см}^{-1}$  до  $20000 \text{ см}^{-1}$  для слоя морской воды, содержащей пузырьки метана с парциальным давлением в 1 атм. Следует заметить, что если вместо морской воды рассмотреть чистую воду без примесей в жидком или твердом состоянии [5-7], то результаты расчета оптических характеристик, представленных на рис. 2, практически не изменятся. Из рисунка видно, что частота осцилляций  $\alpha_{\text{ext}}(\nu)$  и  $T(\nu)$  возрастает при увеличении размера пузырей. Особенности спектральной зависимости наиболее выражены, когда размеры рассеивателей соизмеримы с длиной волны падающего излучения. Изменение только величины  $C$  приведет к сдвигу кривых, иллюстрирующих  $\alpha_{\text{ext}}(\nu)$ , по вертикальной оси, т. к. коэффициент ослабления линейно зависит от концентрации частиц в единице объема (см. (2)). Такая закономерность обеспечивает простоту в оценивании концентрации частиц по данным коэффициента экстинкции.

**Заключение.** Для численного исследования особенностей экстинкции лучистой энергии, прошедшей через водную среду, содержащую пузырьки газа, представлена оптическая

модель. Показано, что по особенностям спектральной зависимости характеристик ослабления излучения, прошедшего через слабо поглощающий слой воды с пузырями метана, могут быть определены размеры и концентрация рассеивателей. Обнаружение интенсивного и продолжительного потока пузырей в воде может свидетельствовать об активизации физико-химических процессов в придонных областях и возможного расположения газово-нефтяных месторождений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обжиров А.И., Телегин Ю.А., Болобан А.В. Потоки метана и газогидраты в охотском море. // Подводные исследования и робототехника. – 2015. – №1. – С. 56-63.
2. Салюк П.К., Буланов В.А., Корсков И.К. и др. Возможность дистанционного обнаружения повышенных концентраций метана в морской воде с использованием методов оптической спектроскопии на подводных телеуправляемых аппаратах. // Средства и методы подводных исследований. – 2011. – Т. 12. – № 2. – С. 43-51.
3. Sakerin S.M., Vlasov N.I., Kabanov D.M., et al. Results of spectral aerosol optical depth measurements within the framework of the 58 Russian Antarctic Expedition. // Atmos. Ocean. Opt. – 2013. – Vol. 27. – No. 12. – P. 1059-1067.
4. Борен К., Хафман Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. – М.: Мир, 1986. – 660 с.
5. Hale G.M., Querry M.R. Optical constants of water in the 200-nm to 200-μm wavelength region. // Appl. Opt. –1973. –Vol. 12. – P. 555-563.
6. Pinkley D., Williams L.W. Optical properties of sea water in the infrared. // J. Opt. Soc. Am. –1976. – Vol. 66. –No. 6. – P. 554-558.
7. Waren S.G., Brandt R.E. Optical constants of ice from the ultraviolet to the microwave: A revised compilation. // Geophys. Res. – 2008. – Vol. 113. – D14220.
8. Шефер О.В., Войцеховская О.К., Каширский Д.Е., Рожнёва О.В. Пропускание оптического излучения надводным и приледным газово-аэрозольным слоем, содержащим метан. // Материалы конференции. 6-я научно-техническая конференция «Технические проблемы освоения Мирового океана» (ТПОМО-6). Владивосток. 2015. – С. 330-334.

#### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

*А.Ю. Колотовкина, А.Ю. Дёмин*  
(г.Томск, Томский политехнический университет)  
*e-mail: stun2817@gmail.com*

#### SOFTWARE IMPLEMENTATION ALGORITHMS FOR DIGITAL AUDIO SIGNALS FILTRATION

*A.Yu.Kolotovkina, A.Yu.Demin*  
(Tomsk, Tomsk Polytechnic University)

The article is concerned with the promising area of human knowledge - digital signal processing, in other words processing sequences equally spaced in time and space counts with means of computer technology.

**Keywords:** digital filtering, audio signals, linear filtering.

Развитие систем телекоммуникаций обусловлено совершенствованием алгоритмов цифровой обработки сигналов и разработкой специализированных процессоров, позволяющих реализовать высокоэффективные и компактные средства связи. Благодаря своим преимуществам цифровая обработка сигналов используется почти на всех этапах работы